

풍선 척추 성형술 시행 후 인접 부위에 발생하는 척추 압박 골절

의료보험공단 일산병원 정형외과학교실¹, 연세대학교 의과대학 정형외과학교실²
광명성애병원 정형외과학교실³

하중원¹ · 박진오² · 박희완² · 김형식² · 김형규³ · 문은수² · 서동석²

- Abstract -

Subsequent Vertebral Compression Fracture after Balloon Kyphoplasty in Osteoporotic Patients

Jung-Won Ha¹, Jin-Oh Park², Hui-Wan Park², Hyoung-Sik Kim²,
Hyung Gyu Kim³, Eun-Su Moon², Dong-Suk Suh²

¹Department of Orthopaedic Surgery, National Health Insurance Corporation Ilsan Hospital,
Koyang, Korea, ²Department of Orthopedic Surgery, Yonsei University College of Medicine,
Seoul, Korea, ³Department of Orthopaedic Surgery Kwang Myung General Hospital,
Kwang Myung, Korea

Background: Osteoporosis is very important social health problem and osteoporotic vertebral compression fracture (VCF) is life-threatening disease in the advanced age. Until now it has been treated conservatively. Now conservative treatment were replaced by percutaneous vertebral augmentation procedures, especially balloon kyphoplasty. But many physicians wonder the mechanical adverse effect of cement in vertebral body on the adjacent vertebra. The purpose of this study is to know the fracture pattern and the frequency of adjacent vertebra after balloon kyphoplasty.

Methods: We performed the retrospective study about 120 vertebrae in 96 patients. Mean time interval between the onset of symptom and the date of procedure was 29.6 days (range, 1~365 days). Mean follow up period after balloon kyphoplasty was 12 months (range, 6~25 months). Radiographic examination was performed every 2 month after procedure for evaluation of additional vertebral fracture.

Results: All of the patients experienced pain relief following the procedure (average improvement in VAS=7, $p<0.01$). Incidence of new vertebral compression fracture was 10% (10 new VCF in 96 patients). Among them there were only 5 adjacent fractures (5%). When we analyzed the cases, all adjacent fractures except one were located cephalad direction of previous fracture and fractured within 2 month after procedure. Adjacent fractures were occurred in the group which end plates were not completely reduced after kyphoplasty.

Conclusion: The additional fracture incidence of adjacent body after kyphoplasty is not higher than the incidence of natural osteoporotic fracture.

Key Words: Spinal Compression Fracture, Balloon Kyphoplasty, Osteoporosis

책임저자: 박진오, 135-720 서울특별시 강남구 도곡동 146-92, 영동세브란스병원 정형외과학교실
Tel: +82-2-3497-3411, Fax: +82-2-573-5393, e-mail: parkjo@yumc.yonsei.ac.kr

서 론

골다공성 척추 골절은 고령층 인구에 있어서 심각한 질병으로서 통증, 척추기형 및 활동성 감소뿐만 아니라 가끔 우울증까지도 유발한다. 발병 초기의 치료는 일반적으로 보존적인 치료를 하게 된다. 보존적인 치료는 단기간의 침상 안정 시기와 약물 치료를 병행한 후 점진적으로 활동량을 증가시키는 것이다. 그러나 이러한 치료를 시행하였을 때, 척추의 압박이 진행되는 것을 막지 못하는 경우가 대부분이고 이로 인해 정상적인 척추의 전만 및 후만 균형이 와해됨으로써 척추의 균형이 맞지 않고 보행에 장애가 발생한다. 또한 고령의 골다공증 환자에서 많은 경우 당뇨병, 심혈관계 질환 그리고 호흡기계 질환 등이 동반되어 있으며, 이러한 환자에서 보존적 치료가 오히려 기존 질병의 악화나 합병증의 발병을 촉진하는 경우가 있다.

1987년 프랑스의 중재적 방사선과 의사인 Galibert 등¹⁾은 척추체에 생긴 혈관중에 골 시멘트를 주입하여 성공적으로 치료한 것을 보고하였고, 1995년 Jensen 등²⁾은 골다공성 척추 골절에 직경이 큰 척추 주사 바늘을 척추경을 통하여 척추체에 삽입한 후 골 시멘트를 주입하여 치료한 것을 보고하였다. 이후로 척추 성형술 (vertebroplasty)에 대한 많은 보고가 있어 왔다. 그러나 낮은 점도의 골 시멘트를 작은 주사 바늘을 통해 주입하다 보니 여기에 따른 많은 문제점이 발생하였다. 합병증의 빈도는 보고자에 따라 다르지만 4.9%에서 100%까지로 보고되고 있다^{3~5)}. 특히 추체 밖으로의 골 시멘트의 유출이나 골 시멘트 색전증 등은 간혹 심각한 결과를 초래하기도 했다.

풍선 척추 성형술은 비교적 최근에 시행되어지는 새로운 골 시멘트 주입법으로서, 추체 내에 조영제를 넣어 확장시킬 수 있는 풍선을 삽입한 후에 추체의 종관을 들어올린 후, 풍선을 제거하고 골 시멘트를 주입한다⁶⁾. 이 기술의 이론적인 장점으로는 추체의 압박 변형을 교정하여 척추의 전만을 최대한 유지할 수 있으며 점도가 높은 골 시멘트를 비교적 안전하게 주입할 수 있다.

골다공성 척추 골절에서 추체에 골 시멘트를 주

입하는 치료법에 대한 임상적인 결과, 특히 통증의 완화 및 정상 생활로 복귀는 매우 좋은 것으로 보고되고 있다^{7~9)}. 여러 고무적인 좋은 보고에도 불구하고 골다공성 척추 골절에 있어서 아직 확정적인 치료법이 되지 못하고 있는 이유는 몇 가지가 있다. 그 중 가장 문제시 되는 이유는 시멘트 주입 후에 추체의 강도가 강화됨으로써 인접 추체에 과도한 부하가 전달되어 오히려 추가적인 골절을 일으킨다는 것이다. Grados 등¹⁰⁾은 25명의 척추 성형술 환자를 2년간 추시 관찰한 결과 이 중 52%인 13명의 환자에서 한 개 이상의 추가적인 척추 골절이 있었다고 보고하여 이러한 염려를 반영하고 있다. 이에 저자들은 2002년부터 본원에서 풍선 척추 성형술을 시행한 120례를 추시 관찰한 결과를 분석하여 인접 부위의 골절의 양상 및 빈도를 알아보고자 한다.

연구 대상 및 방법

1. 연구 대상

2002년 10월부터 영동 세브란스 병원 및 용인 세브란스 병원 정형외과를 내원한 골다공성 척추 골절 환자 중 풍선 척추 성형술 시행 후 6개월 이상 추시 관찰이 가능하였던 96명을 대상으로 하였다. 모든 환자에 대하여 시술 전 척추 자기 공명 영상 촬영 및 골다공증 검사를 시행하였으며, T1 자기 공명 영상에서 저 신호 강도를 보인 경우를 병변으로 삼았다. 시술은 본 병원 또는 타 병원에서 최소 2주 이상의 보존적 치료를 시행하였으나 증상의 호전이 없거나 일상생활에 제한을 주는 통증이 남아 있던 경우를 대상으로 시행하였으며, 85세 이상으로 보존적 치료가 환자의 기저 질환의 악화시킬 가능성이 높다고 판단되는 경우는 2주 이내에라도 시술을 시행하였다. 악성 종양의 전이에 시행하였던 경우는 연구 대상에서 제외하였다.

2. 시술 방법

Kyphon사의 Jamshidi 주사와 풍선을 사용하였으며, 양측 척추경을 통하여 두 개의 풍선을 삽입하였다 (Kyphon, Sunnyvale, CA, USA). 이 후 시멘트가 외부로 유출되기 직전까지 풍선 부피 이상의 골 시

Table 1. Number of fractured vertebral body according to the specific level of spine

Thoracic vertebra		Lumbar vertebra	
T5	1	L1	41
T6	3	L2	16
T8	3	L3	6
T9	3	L4	3
T10	5	L5	1
T11	13		
T12	25		
53		67	
Total		120	

멘트 (Exolent spine cement, Elmdown, England)를 주입하고 그 부피를 측정하였다. 마취는 국소 마취 하에 시행하였으며, 시술 직전 및 시술 중 정주 진통제를 투여하였다. 술 후 2.6±1.2일에 퇴원하였으며 술 후 30일까지 코르셋 척추 보조기를 권장하였다.

3. 연구 방법

내원하기 전의 과거력상 골다공증에 대한 약물 치료를 받았던 환자는 약제를 조사를 하였다. 시술 전 단순 방사선 사진과 시술 후 매 2개월마다 시행한 추적 단순 방사선 검사를 비교하여 추가적인 골절의 발생 여부를 확인하였다. 시술 후 외래 내원 시마다 증상의 호전 및 호전된 증상의 유지 여부를 기록하였다 (시각 상사 척도, 0~10). 추가적인 골절 발생 시 골절 양상을 기록하였다. 수술 직후 모든 예에서 시술한 추체에 대한 전산화 단층 촬영을 실시하여 주입된 골 시멘트의 추체 내의 형태 및 누출된 양상을 관찰하였다.

결 과

1. 개체군의 특성

남성이 16명, 여성이 80명이었으며 평균 연령은 74세 (범위, 50~93)였다. 골절 부위는 흉추가 53례, 요추가 67례였다. 대부분의 환자가 노년기 골다공증이 있는 상태에서 가벼운 외상 후 발병한 경우였으

Table 2. Classification of cement leakage according to the direction

Direction of cement leakage	Number
Anterior	5
Lateral	10
Intradiscal	3
Epidural	2
Trans-pedicular	4
Total	24

며 보존적 치료에도 효과가 경미하였다. 시술 전에 골다공증에 대한 약물 치료를 받았던 환자의 비율은 13%였으며, 사용했던 치료 약제는 다양하였다.

2. 분석

증상의 발현 또는 가벼운 외상의 시기부터 풍선 척추 성형술 시행 받기까지의 경과 시간은 평균 29.6일 (범위, 1~365일)이었다. 시술 후 평균 추시 관찰 기간은 12개월 (범위, 6~25개월)이었다. 환자의 시상 상사 척도는 술 전 8.5±0.79에서 술 후 1.5±1.19로 평균 7점 호전되었다 ($p<0.01$). 한번 시술 시 시행한 추체의 갯수는 1개 분절이 70례 (73%), 2개 분절이 24례 (25%), 3개 분절이 2례 (2%)였다. 골절된 추체의 분포는 흉추가 53례 (44%), 요추가 67례 (56%)였으며 흉추에서는 제 12흉추가 25례로 제일 많았고, 요추에서는 제 1요추가 41례로 가장 많았다 (Table 1). 평균 주입한 시멘트의 양은 8.3±2.1 cc였다. 술 후 시행한 전산화 단층 촬영 사진에서 누출된 시멘트의 양상을 관찰하였다. 누출은 24례 (20%)에서 관찰되었으며, 누출된 양상은 전방, 측방, 인접한 수핵내, 경막외, 척추경 방향의 5가지로 분류하였다. 측방으로의 누출이 10례로 가장 많았다 (Table 2). 골 시멘트의 누출에 따른 심각한 부작용은 없었다. 다만 척추경 방향으로 누출된 시멘트가 피부를 자극하여 제거가 필요한 경우가 1례 있었다.

3. 인접 부위 골절의 양상

풍선 척추 성형술 시술 후 발생한 추가적인 골절은 모두 10례였다. 이 중 골 시멘트를 주입한 추체

에 인접하여 발생한 골절은 5례로 제 12흉추 시술 후 제 11흉추가 골절된 경우가 2례 (Figure 1), 제 12흉추 시술 후 제 1요추가 골절된 경우가 1례 (Fi-

gure 2), 제 1, 4요추 시술 후 제 2, 3요추에 골절이 발생한 경우가 1례 (Figure 3), 제 1, 4요추 시술 후 제 12흉추가 골절된 경우가 1례 있었다. 이 5례의



Figure 1. This 87 year-old female patient used to take bisphosphonate and calcium for the treatment of osteoporosis. She injured her back when lifted a heavy object. Mid back pain persisted for 1 week and visited hospital. Further conservative treatment was not effective. Kyphoplasty procedure was done on T-12 vertebra. **A**, Wedge compression fracture was noted on T12 vertebra. **B**, Immediate x-ray film after balloon kyphoplasty. **C**, 4 weeks later after procedure, there is peri-cement bone resorption. **D**, Eight weeks postoperatively, lower end plate of T11 vertebra was fractured according to the shape of cement mass.

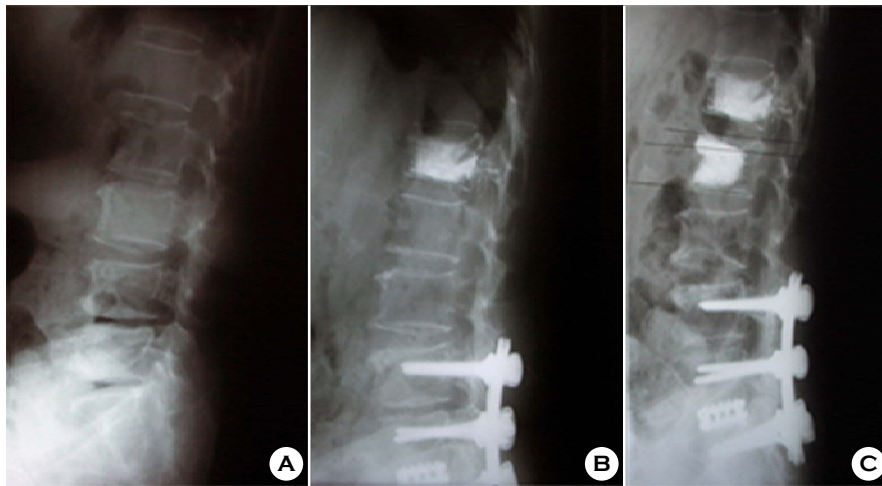


Figure 2. This 63 year-old female patient visited our hospital after slipped down in bath room. Initial examinations showed fractured L1 vertebra and spinal stenosis on L4-S1 level. Conservative treatment failed after 4 weeks and kyphoplasty was done with decompression and posterolateral fusion on L4-S1 level. **A**, L1 wedge compression fracture was observed with degenerative spinal stenosis on L4-S1 level. **B**, Kyphoplasty was done on L1 vertebra along with decompression and fusion on L4-S1 level. **C**, Twelve weeks postoperatively, she slipped down and x-ray film showed fracture on L2 vertebra. Conservative treatment do not relieve pain for 1 month and Kyphoplasty was done L2 vertebra.



Figure 3. This 78 year-old female patient visited our hospital due to persistent low back pain. MRI exam showed compression fracture on L1 and L4. Kyphoplasty was done. Postoperatively 2 weeks, severe low back pain recurred after minor trauma. On MRI exam another compression fractures were found on L2 and L3. Kyphoplasty was done on L2 and L3. **A**, Fifteen years ago, T12 compression was diagnosed and treated by bracing. **B**, Multiple compression fracture was on entire lumbar spine, X-ray film showed fracture on L1 and L4 vertebra recently. **C**, Kyphoplasty was done on L1 and L4. **D**, Four weeks postoperatively, kyphoplasty was done on L2 and L3

골절 중 4례는 모두 상부 척추 종판이 골절된 경우였으며 풍선 척추 성형술 이후에도 척추 종판이 정복되지 않거나 정복되어도 과도하게 정복된 경우였다. 다른 1례는 하부 척추 종판이 골절된 경우였다. 인접 부위의 추가적인 골절에 대한 치료로는 보존적인 치료가 2례, 다시 풍선 척추 성형술을 시행한 경우가 3례 있었다. 모든 추가 골절은 시술 후 2개월 이내에 발생하였다.

고 찰

한국에서의 골다공성 척추 골절의 빈도는 정확히 알려져 있지 않다. Lindsay 등¹¹⁾의 결과에 의하면 척추 골절이 없는 폐경기 여성에 있어서 연간 척추 골절의 발생 빈도는 6.6%로 보고되어 있다. 한국의 경우도 비슷한 발생 빈도를 보일 것으로 생각된다. 그러나 만약 한 개 이상의 골다공성 척추 골절이 있다면 그 이후의 추가적인 척추 골절의 발생 빈도는 21.9%로 급격히 증가하며, 만약 2개 이상의 척추 골절이 있으면 그 빈도는 24%로 높아진다.

척추체에 가해지는 부하는 여러 가지 인자에 의하여 결정된다. 그 인자로는 추체 사이에 위치하는

추간판의 점탄성 (visco-elasticity), 시상면에서의 척추의 균형, 척추체의 골밀도 또는 척추체의 경도, 척추체 종판의 모양 등 여러 가지가 있을 수 있다.

척추체의 골밀도가 높으면 추체 종판의 파열이 많고, 낮으면 설상 압박 골절 (wedge compression fracture)이 많이 발생한다¹²⁾. 퇴행성 변화가 없는 추간판의 경우 부하가 걸리면 추간판의 수핵에 압력이 높아지면서 추간판의 중심의 압력이 증가한다. 즉 척추체 종판에 걸리는 부하가 균일하게 증가한다. 퇴행성 변화가 진행된 추간판의 경우 수핵의 압력증가 없이 전체 추간판이 종적인 부하를 전달하는 역할만을 함으로 지렛대가 긴 추체의 전방부에 상대적으로 많은 부하가 전달되어 설상 압박 골절이 발생하는 것으로 알려져 있다¹³⁾. 종판이 골절되면 수핵 중심부의 압력이 25%나 감소하며¹⁴⁾, 수핵의 퇴행성 변화가 진행되어도 중심 압력이 감소한다¹⁵⁾. 골다공성 척추 골절 이후에 풍선 척추 성형술을 시행한 경우에도 수핵의 중심 압력은 정상보다 높아지지 않는 것으로 보고되고 있다¹²⁾. 이는 골절 시에는 중심 압력이 많이 떨어지지만 풍선 척추 성형술을 시행한 경우 이 압력이 정상에 가깝게 증가하더라도 절대로 정상 압력이나 그 이상으로 회복

되지는 않는다는 것을 의미한다.

노년기 골다공증 환자에 있어서 한 개 이상의 척추 골절이 있는 후에 추가적인 골절의 발생 빈도는 과거 보고에 따르면 21.9%인데^{11,16)}, 본 연구 결과에 따르면 10%로 조사되었다. Lindsay 등¹¹⁾의 연구 대상에서 2개 이상의 척추 골절이 발생한 경우가 전체 381 환자 중 251명으로 약 66%에 달했다. 이에 비해 본 연구에서는 96명 중 24명에서 2개 이상의 척추 골절이 발생해서 약 25%의 비율을 보였다. 대상군 비교에서 골절의 정도가 심한 환자가 Lindsay 등의 보고에 더 많았다고 볼 수 있다. 그러나 전체 연령 분포가 비슷한 것을 고려하고, 본 연구에서는 85세 이상의 고령 일부를 제외한 대부분의 환자가 증상이 있고 보존적 치료로는 효과가 없는 골절을 대상으로 한 점을 생각하면 대상 환자의 중증도는 크게 다르지 않을 것으로 사료된다. 만약 한국인에 있어서 추가 골절의 빈도가 비슷하다고 가정하면 풍선 척추 성형술이 추가적인 골절을 조장하지는 않는 것으로 추론할 수 있다.

추가적인 척추 골절이 적게 나온 원인에 대한 분석에 대하여는 여러 가지 설명이 있을 수 있으며 이 중 풍선 척추 성형술 이후 척추의 균형이 회복되고, 추체의 압박 변형이 교정되는 등의 역학적인 이유도 있을 것이다. 그러나 초기에 병원에 내원하였을 때는 골다공증에 대한 어떠한 약물 치료도 받지 않고 있던 환자가 대다수를 차지하였던 것을 볼 때 시술 이후의 약물 치료와 골절 예방에 대한 교육도 추가 골절의 감소에 영향을 주었을 것으로 사료된다. Villarraga 등¹⁷⁾의 척추에 대한 유한 요소 모형 (finite element model) 연구에서도 풍선 척추 성형술 이후에 해당 추체에 증가하는 스트레스는 미미한 것으로 보고하면서 인접 부위의 골절은 그 척추 자체의 원인에 의한 것으로 주장했다. 본 연구에서 시술한 추체의 인접 부위에 골절이 생기는 경우는 5%로서 풍선 척추 성형술 이후에 추체의 강도가 커지기 때문에 더 쉽게 골절이 된다는 생각은 근거가 희박하다고 볼 수 있다. 풍선 척추 성형술을 시행한 후 인접한 추체의 골절은 5례였다. 이 5례를 살펴보면 풍선 척추 성형술을 시행한 이후에도 척추 종관의 정복이 불완전한 경우에 인접 부위의 골절이 발생하였다. 이 결과는 척추 종관의 불완전한

정복이 추간판 수핵의 중심 압력의 회복을 불완전하게 만들어 인접 추체에 가해지는 압력의 전달양상이 변화하여 발생하는 것으로 사료되며, 만약 추간판의 퇴행성 변화가 진행되어 있다면 인접 추체에 가해지는 압력이 척추의 움직임에 따라 순간적, 부분적으로 집중되어 골절이 쉽게 일어난 것으로 사료된다.

본 연구에서 추체 내에 주입한 골 시멘트의 양이 평균 8.3 cc로 비교적 많은 양의 시멘트가 주입되었다. 주입된 시멘트의 양에 따른 추체의 경도 변화는 있을 것으로 사료되나 Kathryn 등¹⁸⁾의 연구에 의하면 골다공증 환자에 있어서 추체 부피의 20% 이상의 시멘트만 주입하면 추체의 경도는 정상에 가까운 정도로 회복된다고 하였다.

Figure 1에서 보면 추체 내의 시멘트 종괴 주변으로 골절이 흡수 되면서 추체의 형태가 변형되고 따라서 인접한 추체에 하중이 부분적으로 집중되어 가해지면서 추가적인 골절이 일어난 경우였다. 추체 내의 시멘트 종괴에 대한 신체적인 반응에 대하여 Togawa 등¹⁹⁾은 자생능력이 있는 골조직의 경우 시멘트 종괴에 대하여 심한 이물 반응이나 열에 의한 괴사 등은 일어나지 않는 것으로 보고하고 있다. 오히려 얇은 섬유성 막의 형성 및 가골이 파고 들어가는 생체반응 (creeping substitution)을 볼 수 있다고 하였다¹⁹⁾. 그러나 추체에 무혈성 괴사와 같은 질환이 진행되고 있는 경우에 둥근 모양의 시멘트 종괴가 추체 내에 위치하는 것은 추가 골절을 조장할 수 있는 원인의 한 가지가 될 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구의 제한점은 상대적으로 작은 환자군, 짧은 추시 관찰 기간 등이다. 그러나 골절의 발생에 직접적인 영향을 미치는 골다공증 치료 약제를 사용하지 않는 대조군의 부재가 가장 큰 제한점이다. 즉 추가적인 골절의 감소 효과가 풍선 척추 성형술에 의한 역학적인 척추 구조의 개선이 아닌 골다공증 치료 약제에 의한 골조직의 질적인 개선에 기인한 부분도 있을 것으로 사료된다.

결 론

풍선 척추 성형술은 골다공성 척추 골절의 치료

에 있어서 한 가지 좋은 방법이 될 수 있을 것으로 사료된다. 풍선 척추 성형술을 시행한 환자에 있어서 추가 골절의 빈도는 골다공증 환자의 자연적인 골절 발생 빈도보다 높지 않음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- 1) Galibert P, Deramond H, Rosat P, Legars D. *Preliminary note on the treatment of vertebral angioma by percutaneous acrylic vertebroplasty. Neurochirurgie* 33: 166-168, 1987
- 2) Jensen M, Evans A, Mathis J, Kallmes D, Cloft H, Dion J. *Percutaneous polymethylmethacrylate vertebroplasty in the treatment of osteoporotic vertebral body compression fractures: technical aspects. AJNR Am. J. Neuroradiol* 18: 1897-1904, 1997
- 3) Aebli N, Krebs J, Davis G, Walton M, Williams M, Theis J. *Fat embolism and acute hypotension during vertebroplasty: an experimental study in sheep. Spine* 27: 460-466, 2002
- 4) Phillips F, Wetzel F, Lieberman I, Campbell-Hupp M. *An in vivo comparison of the potential for extra-vertebral cement leak after vertebroplasty and kyphoplasty. Spine* 27: 2173-2179, 2002
- 5) Uppin A, Hirsch J, Centenera L, Pfiefer B, Pazianos A, Choi I. *Occurrence of new vertebral body fracture after percutaneous vertebroplasty in patients with osteoporosis. Radiology* 226: 119-124, 2003
- 6) Lieberman I, Dudeney S, Reinhardt M, Bell G. *Initial outcome and efficacy of kyphoplasty in the treatment of painful osteoporotic vertebral compression fractures. Spine* 26: 1631-1638, 2001
- 7) Rhyne III A, Banit D, Laxer E, Odum S, Nussman D. *Kyphoplasty: Report of eighty-two thoracolumbar osteoporotic vertebral fractures. J. Orthop. Trauma* 18: 294-299, 2004
- 8) Berlemann U, Franz T, Orlor R, Heini PF. *Kyphoplasty for treatment of osteoporotic vertebral fractures: a prospective non-randomized study. Eur. Spine J* 13: 496-501, 2004
- 9) Phillips FM, Ho E, Campbell-Hupp M, McNally T, Wetzel FT, Gupta P. *Early radiographic and clinical results of balloon kyphoplasty for the treatment of osteoporotic vertebral compression fractures. Spine* 28: 2260-2267, 2003
- 10) Grados F, Depriester C, Cayrolle G, Hardy N, Deramond H, Fardellone P. *Long-term observation of vertebral osteoporotic fractures treated by percutaneous vertebroplasty. Rheumatology* 39: 1410-1414, 2000
- 11) Lindsay R, Silverman SL, Cooper C, Hanley DA, Barton I, Broy SB, Licata A, Benhamou L, Geusens P, Flowers K, Stracke H, Seeman E. *Risk of new vertebral fracture in the year following a fracture. JAMA* 285: 320-323, 2001
- 12) Dheera A, Sigurd B, Vedat D, Kevin C, Jeffrey C L, Zheng X, Christian MP. *The effect on anterior column loading due to different vertebral augmentation techniques. Clinical Biomechanics* 20: 25-31, 2005
- 13) Wilson D, Myers E, Mathis J, Scribner R, Conta J, Reiley M, Talmadge K, Hayes W. *Effect of augmentation on the mechanics of vertebral wedge fractures. Spine* 25: 158-165, 2000
- 14) Adams M, Freeman B, Morrison H, Nelson I, Dolan P. *Mechanical initiation of intervertebral disc degeneration. Spine* 25: 1625-1636, 2000
- 15) Sato K, Kikuchi S, Yonezawa T. *In vivo intradiscal pressure measurement in healthy individuals and in patients with ongoing back problems. Spine* 24: 2468-2474, 1999
- 16) James SH, Bronco P, Mary KR, Isador L. *Primary and secondary osteoporosis' incidence of subsequent vertebral compression fractures after kyphoplasty. Spine* 29: 2120-2125, 2004
- 17) Marta LV, Anthony JB, Timothy PH, Peter AC, Steven MK, Avram AE. *The biomechanical effects of kyphoplasty on treated and adjacent nontreated vertebral bodies. J Spinal Disord Tech* 18: 84-91, 2005
- 18) Kathryn BH, Robert DH, Noshir AL, Mitchell FR. *Biomechanical effects of unipedicular vertebroplasty*

sty on intact vertebra. Spine 28: 1540-1548, 2003
19) Togawa D, Bauer TW, Lieberman IH, Takikawa S.
Histologic evaluation of human vertebral bodies

*after vertebral augmentation with polymethyl metha-
crylate. Spine 15: 1521-1527, 2003*